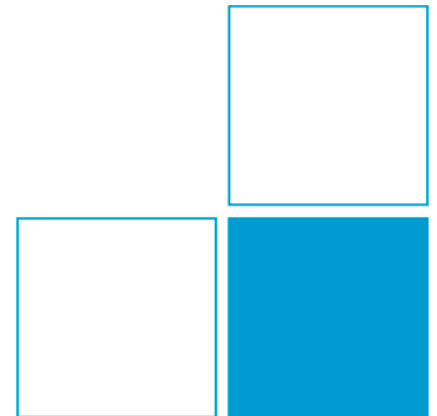


Messunsicherheitsanalyse für Temperatur-Blockkalibratoren

S. Rudtsch

Berechnung der Messunsicherheit – Empfehlungen für die Praxis
293. PTB-Seminar, Berlin 17.3.2016



Anwendung von Temperatur-Blockkalibratoren

Vor-Ort Kalibrierung von
Berührungsthermometern

Temperaturbereich von
von -100 °C bis $+1300\text{ °C}$

Messunsicherheiten
von 25 mK bis 5 K

**Ringvergleich von 600 °C bis
 1200 °C**

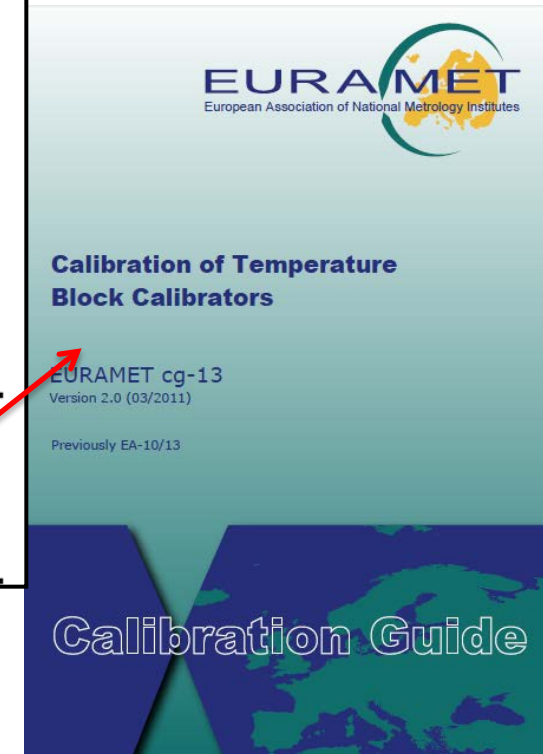
ZMK & Analytik GmbH (Pilotlabor),
AMETEK, WIKA, Siemens,
imetrologie, testo, PTB



Was wird „kalibriert“ ?

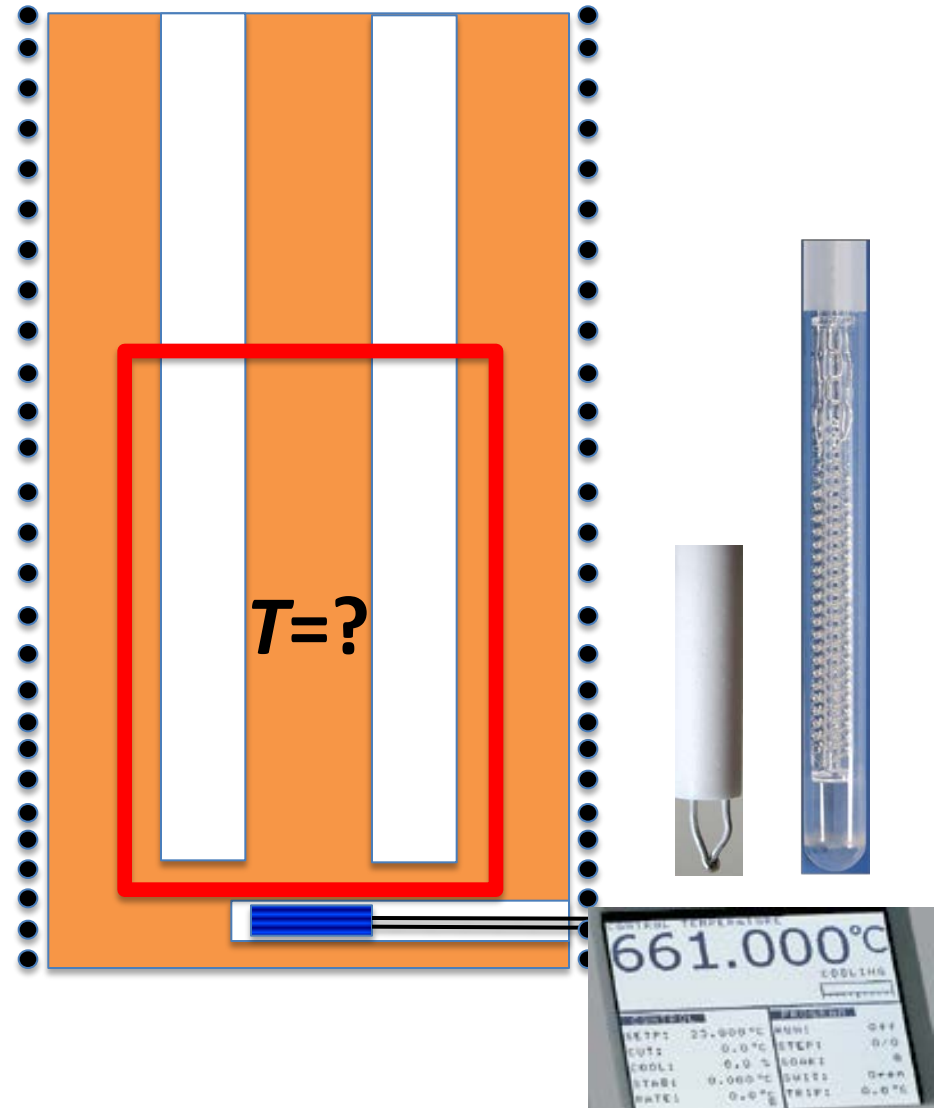


1. Kalibrierung des eingebauten Temperatursensors und der Mess- und Anzeigeeinheit
2. Charakterisierung der Homogenität und zeitlichen Stabilität des Temperaturfelds im Block (Ofen)



Was wird „kalibriert“ und was wird charakterisiert?

- Temperatursensor und Messeinrichtung
- Zeitliche Stabilität (1 h...1 a)
- Hysterese
- “Beladungseffekt”
- Temperaturverteilung im Block
 - Radiale Homogenität
 - Axiale Homogenität
- Axiale Wärmeableitung



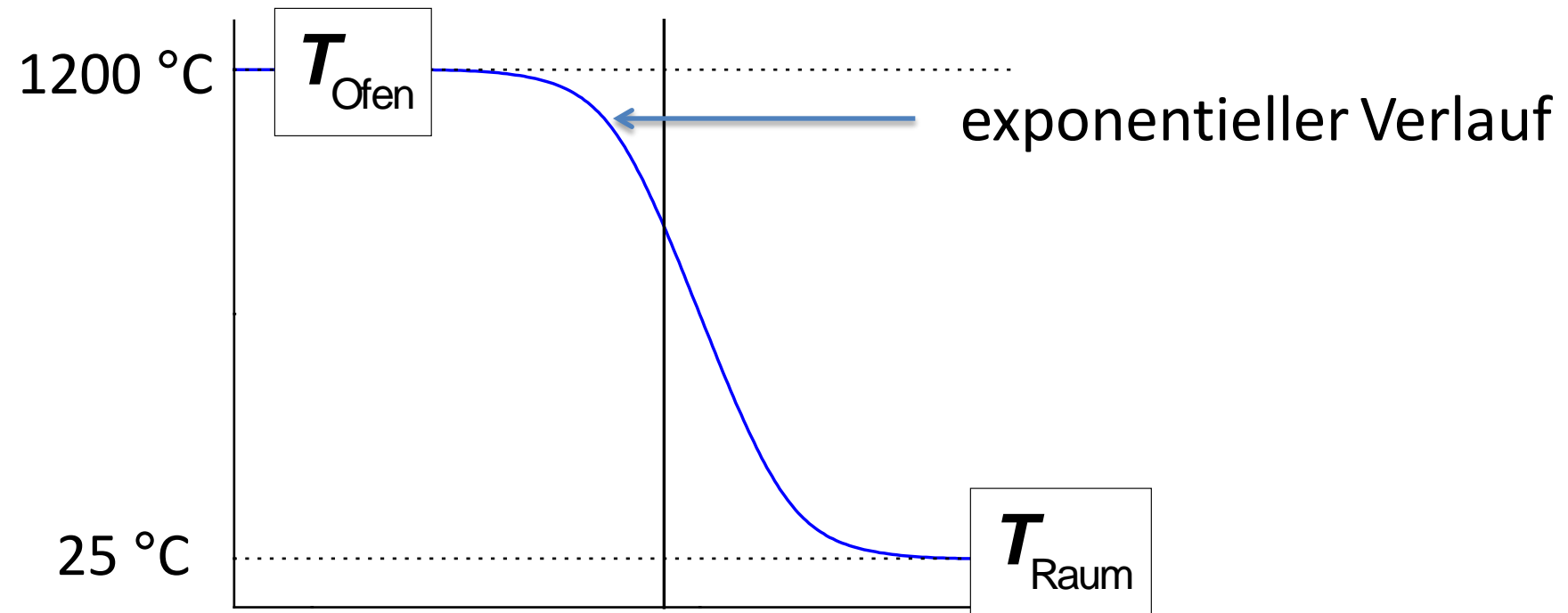
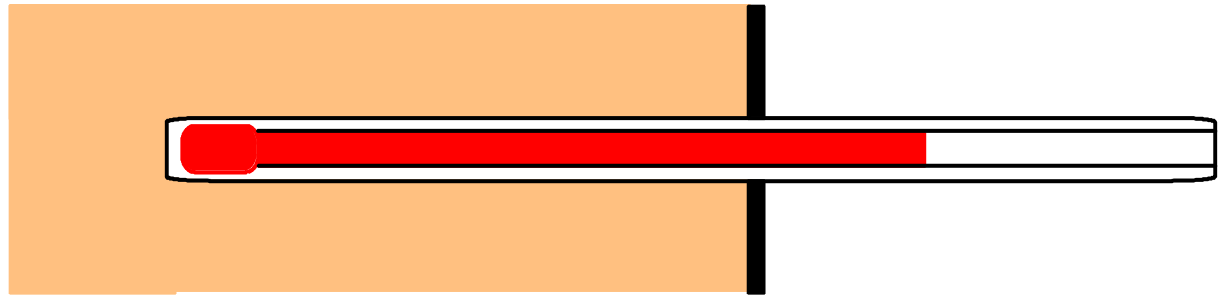
Motivation

Messunsicherheiten akkreditierter Kalibrierlaboratorien in Europa für die Kalibrierung von Hochtemperatur-Blockkalibratoren

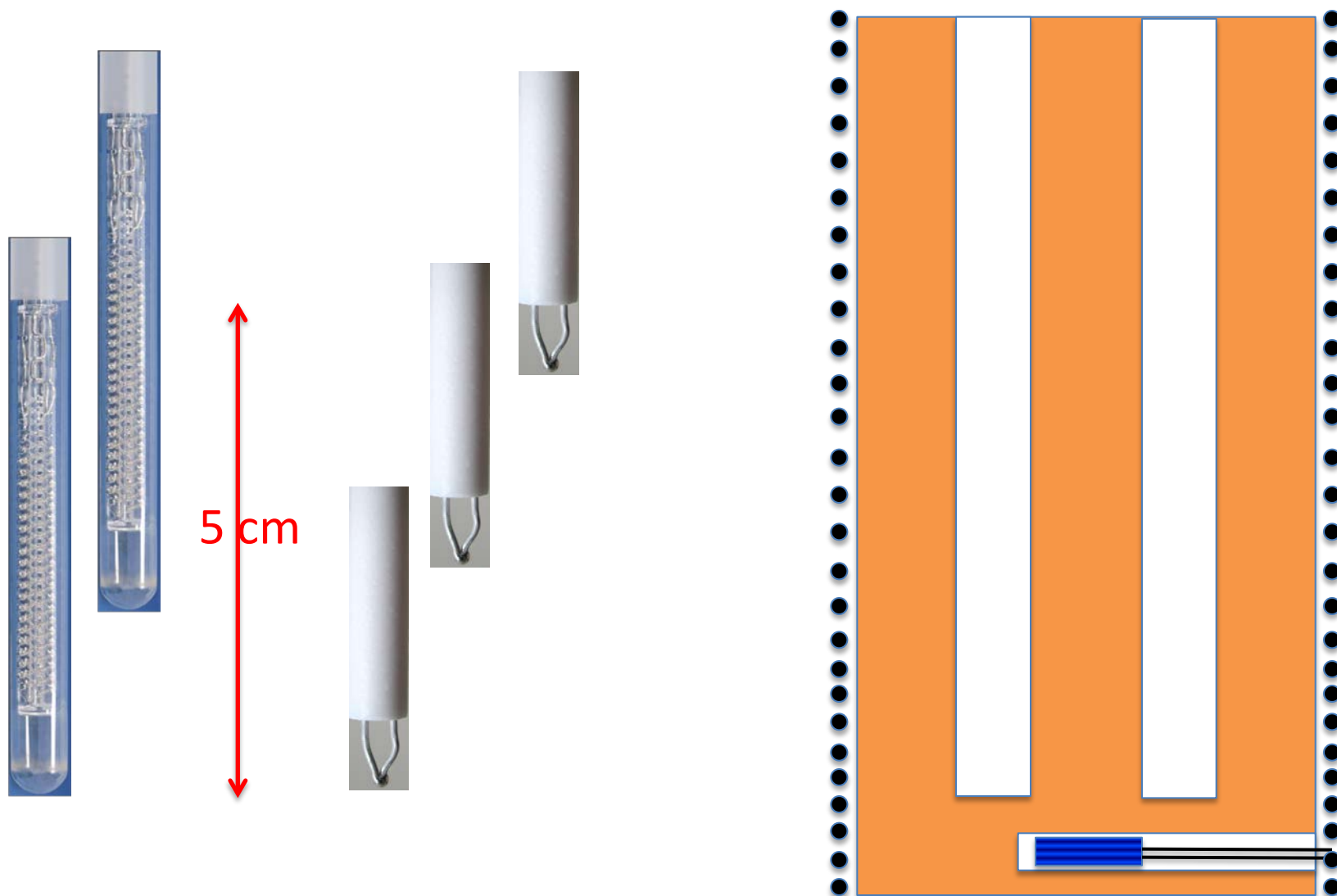
	ISOTECH (UKAS)	AMETEK* (DANAK)	ZMK (DAkkS)
700 °C	1 K	1 K	2,5 K
900 °C	1 K	1 K	2,5 K
1200 °C	3 K	1 K	4,5 K

* “Uncertainty contribution from equipment is not included“
“Internal calibration procedure 12653 “

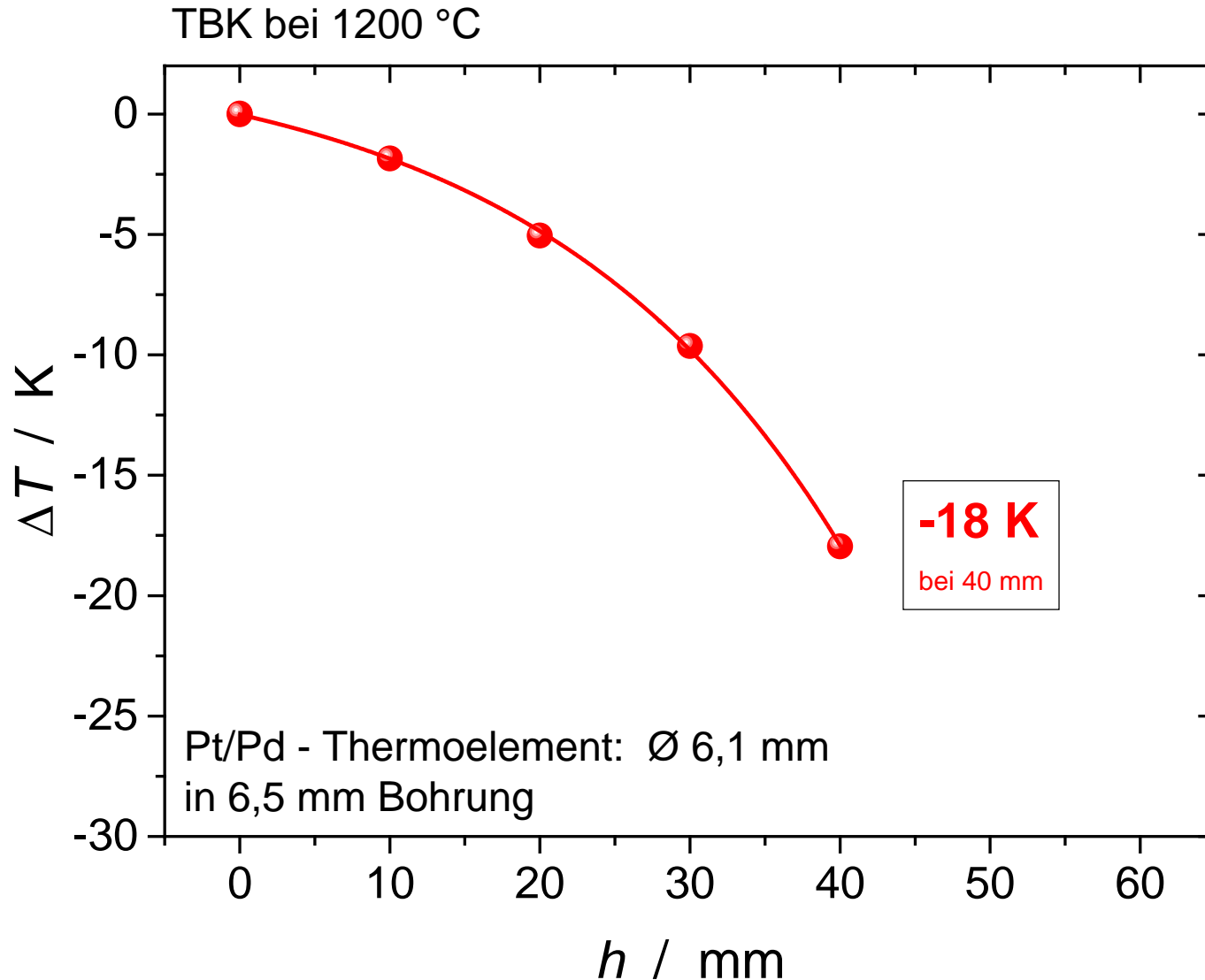
Axialer Temperaturverlauf



Messung der axialen Temperaturverteilung

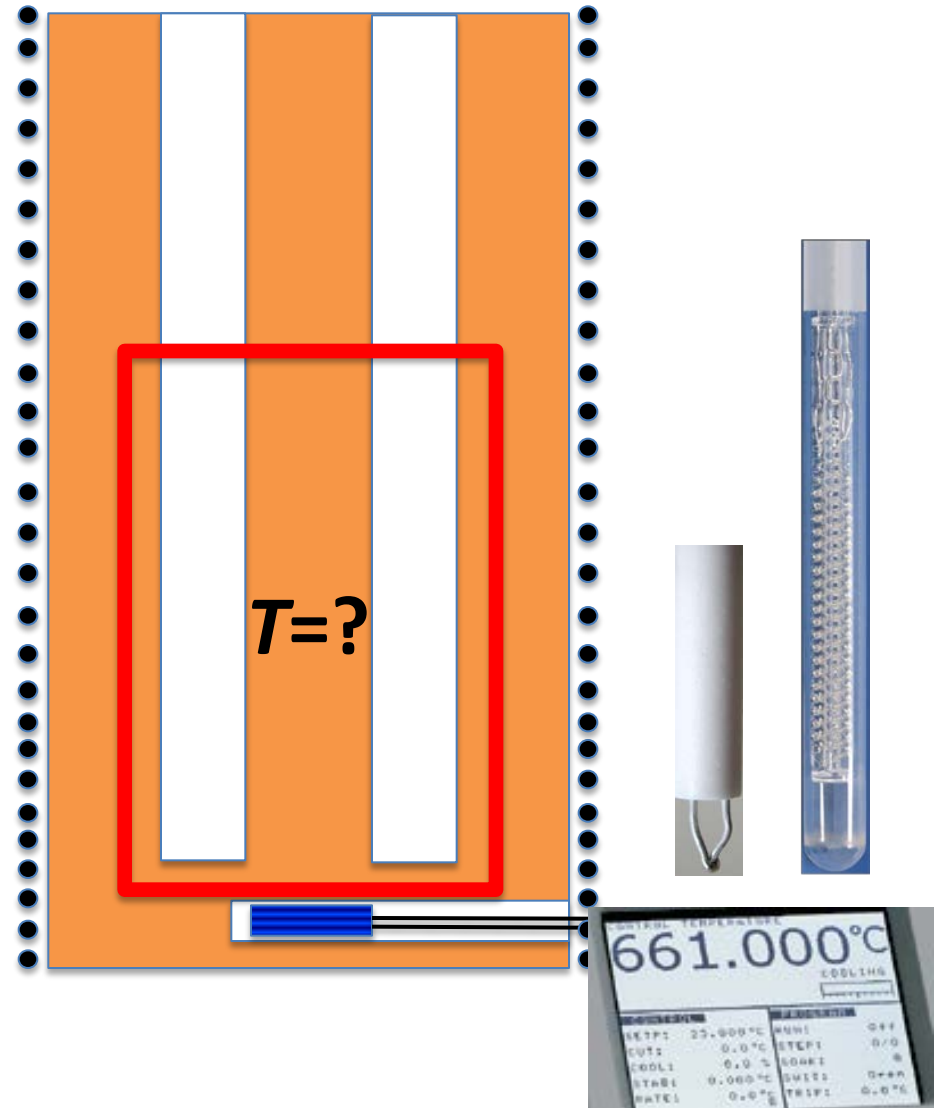


Axialer Temperaturverlauf bei 1200 °C

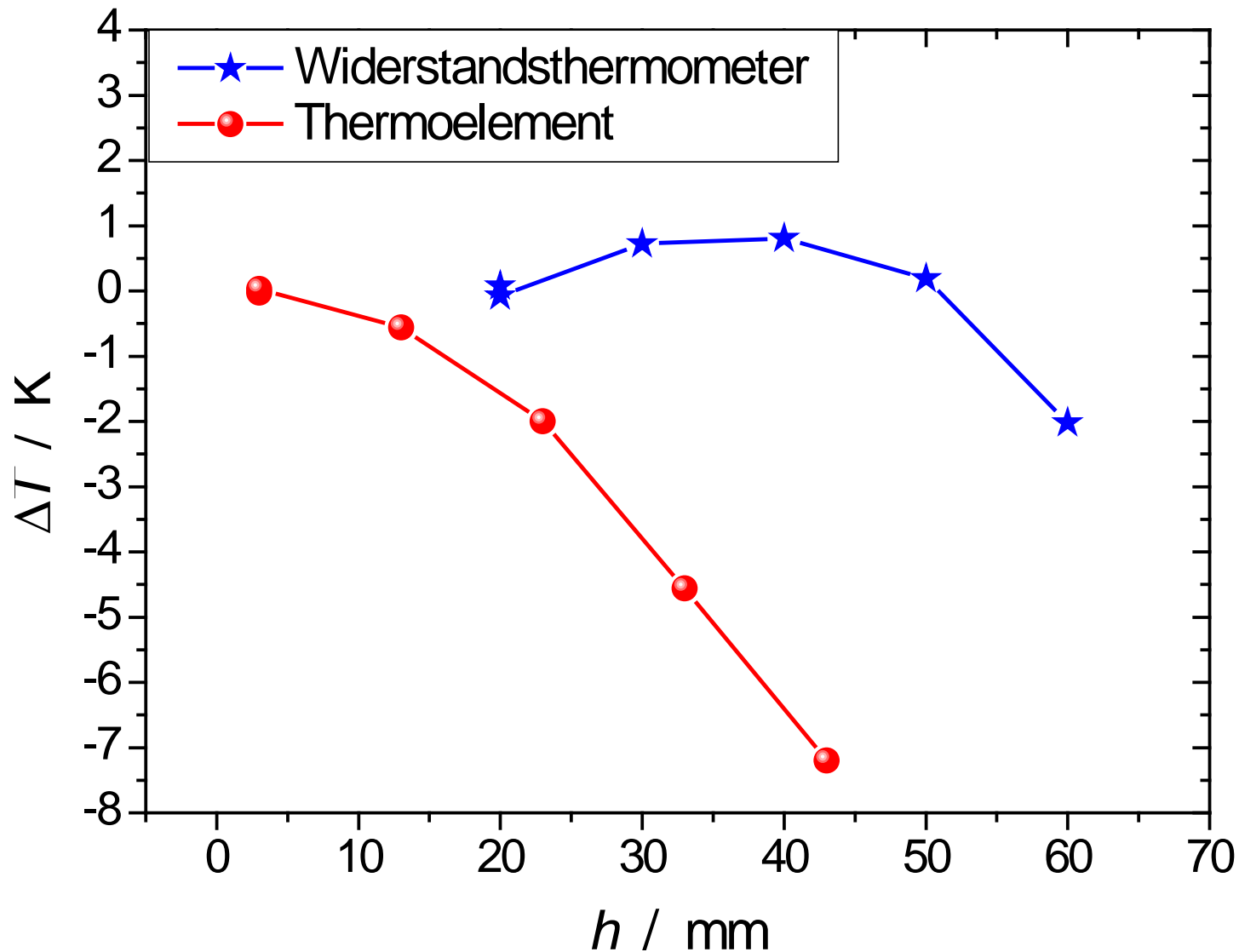


Was wird „kalibriert“ und was wird charakterisiert?

- Temperatursensor und Messeinrichtung
- Zeitliche Stabilität (1 h...1 a)
- Hysterese
- “Beladungseffekt”
- Temperaturverteilung im Block
 - Radiale Homogenität
 - Axiale Homogenität
- Axiale Wärmeableitung

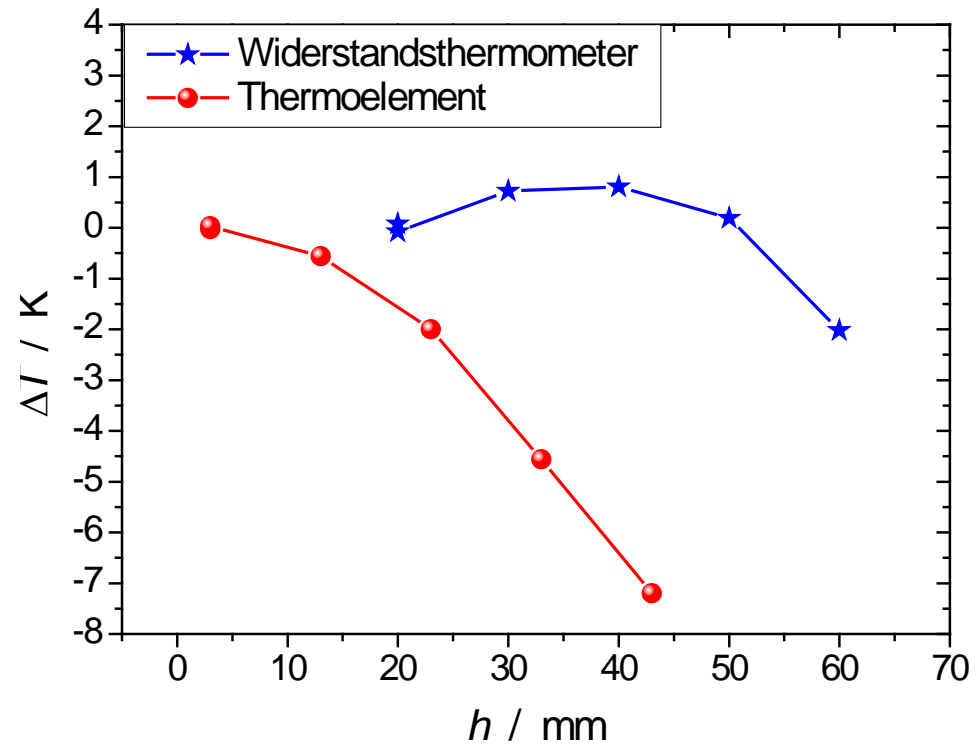
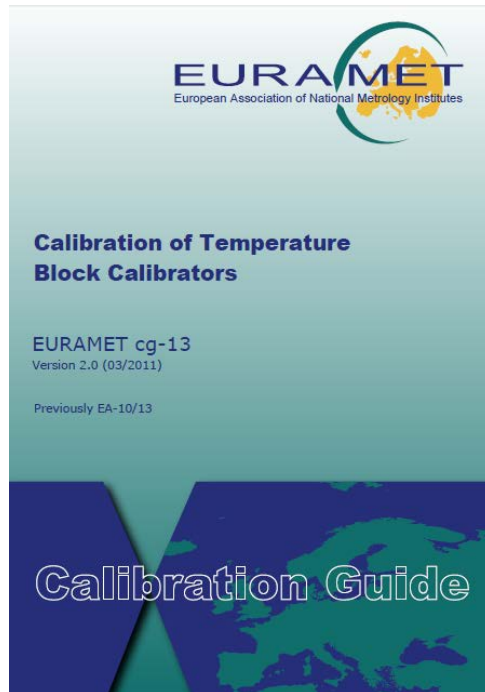


Axialer Temperaturverlauf bei 600 °C



Kalibrierung eines Temperatur-Blockkalibrators

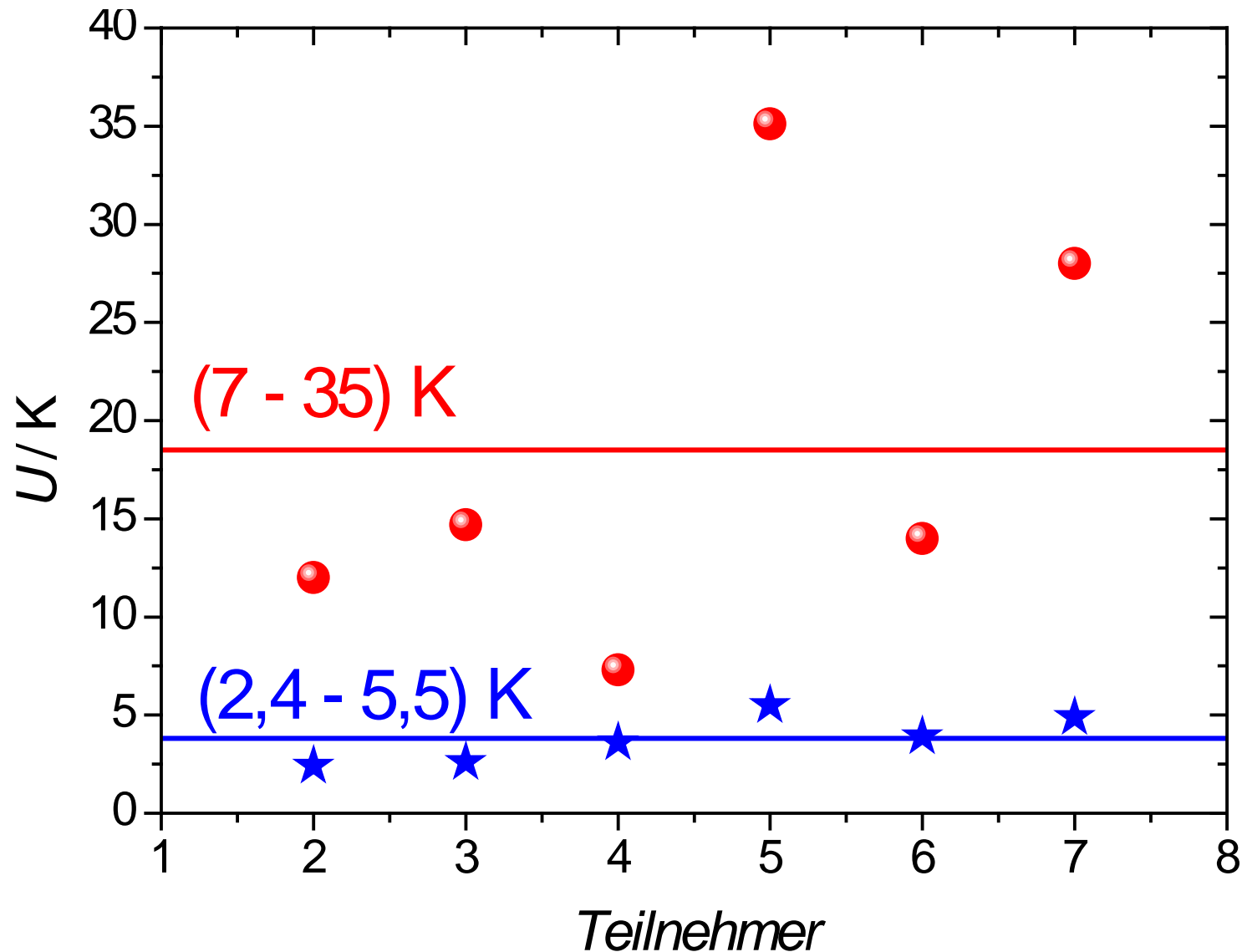
- Präzise Definition des „Kalibriergegenstands“ (DUT) erforderlich
 - mittlere Temperatur in der Bohrung eines Blockkalibrators (z.B. 0 cm bis 4 cm)
- Berücksichtigung der aktiven Sensorlänge !
- Vorgabe zur Quantifizierung des Inhomogenitätsbeitrages



Beiträge zur Messunsicherheit (PTB, ohne Beladung)

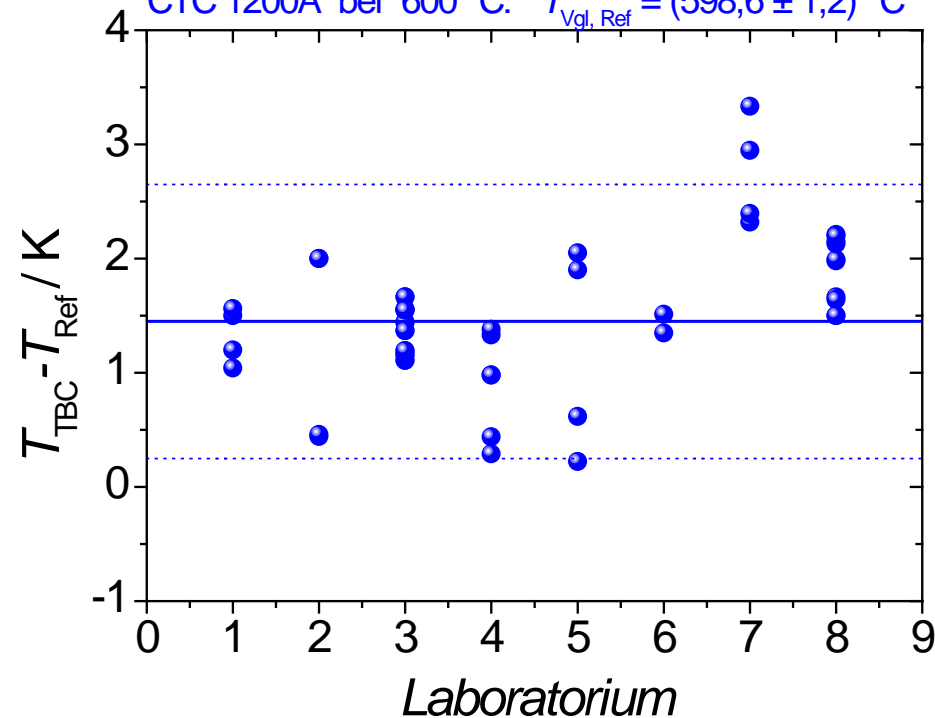
	$U(600\text{ °C})$ in mK	$U(960\text{ °C})$ in mK	$U(1200\text{ °C})$ in mK
Kalibrierung Pt/Pd Thermoelement	300	300	300
Messung der Thermospannung	23	16	14
Vergleichsstelle	50	100	100
Axiale Inhomogenität	2400	4000	4600
DUT Anzeigeauflösung	50	50	50
DUT Stabilität und Hysterese	20	30	80
Gesamt	2400	4000	4600

Ringvergleich: Unsicherheitsbudget bei 600 °C



Ringvergleich: Ergebnisse bei 600 °C

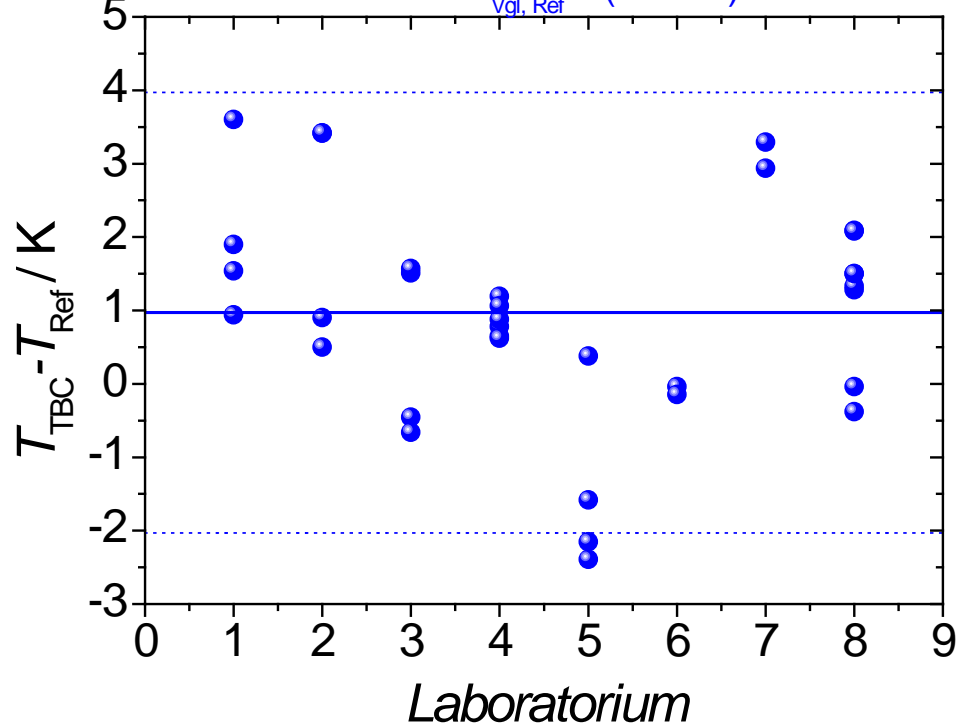
CTC 1200A bei 600 °C: $T_{Vgl., Ref} = (598,6 \pm 1,2) \text{ °C}$



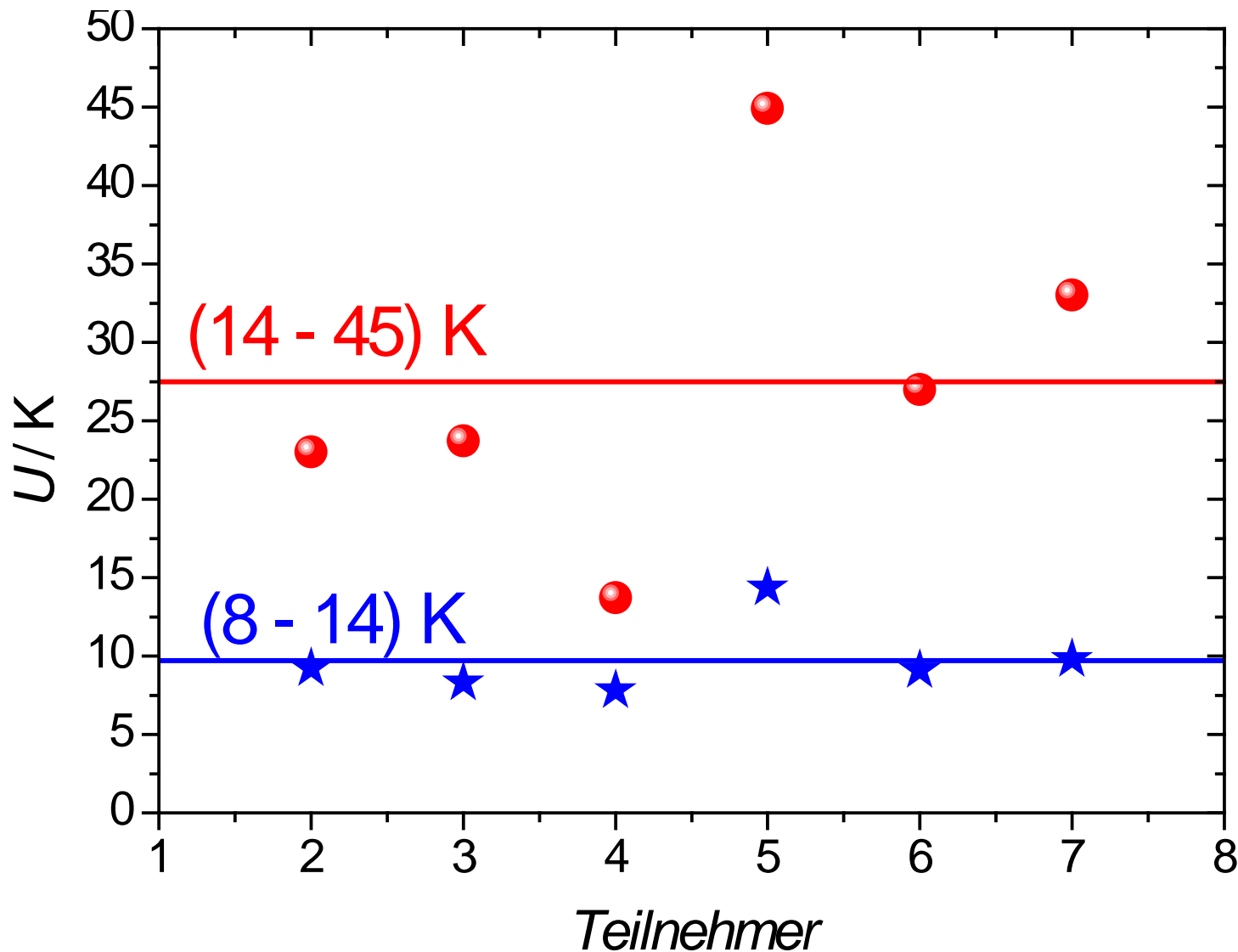
möglich: (0,4 – 1,5) K
Kalibrierschein: (2,4 - 5,5) K

möglich: (0,4 – 1,5) K
Kalibrierschein: (7 - 35) K

9150B bei 600 °C: $T_{Vgl., Ref} = (599 \pm 3) \text{ °C}$

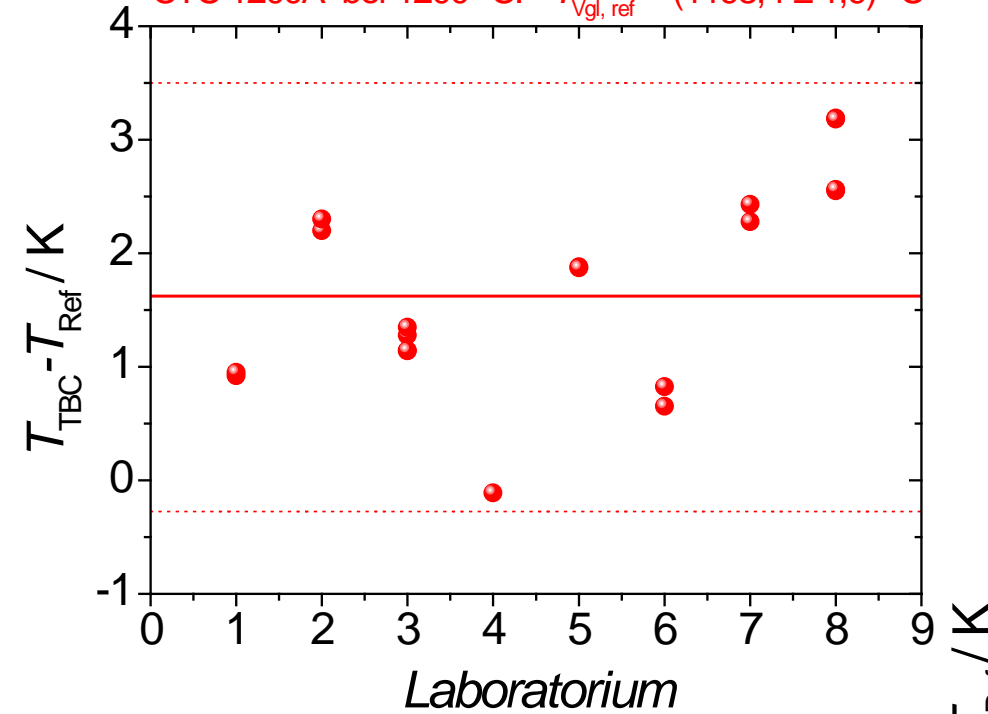


Ringvergleich: Unsicherheitsbudget bei 1200 °C



Ringvergleich: Ergebnisse bei 1200 °C

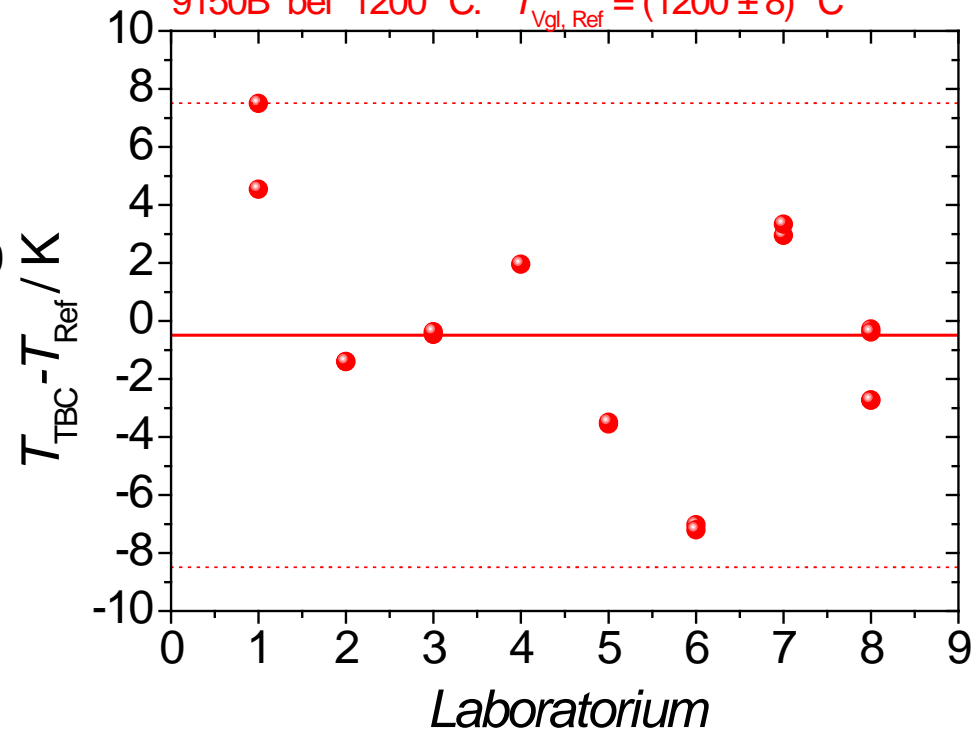
CTC 1200A bei 1200 °C: $T_{Vgl, ref} = (1198,4 \pm 1,9) \text{ °C}$



möglich: 4,5 K
Kalibrierschein: (8 - 14) K

möglich: 4,5 K
Kalibrierschein: (14 - 45) K

9150B bei 1200 °C: $T_{Vgl, Ref} = (1200 \pm 8) \text{ °C}$



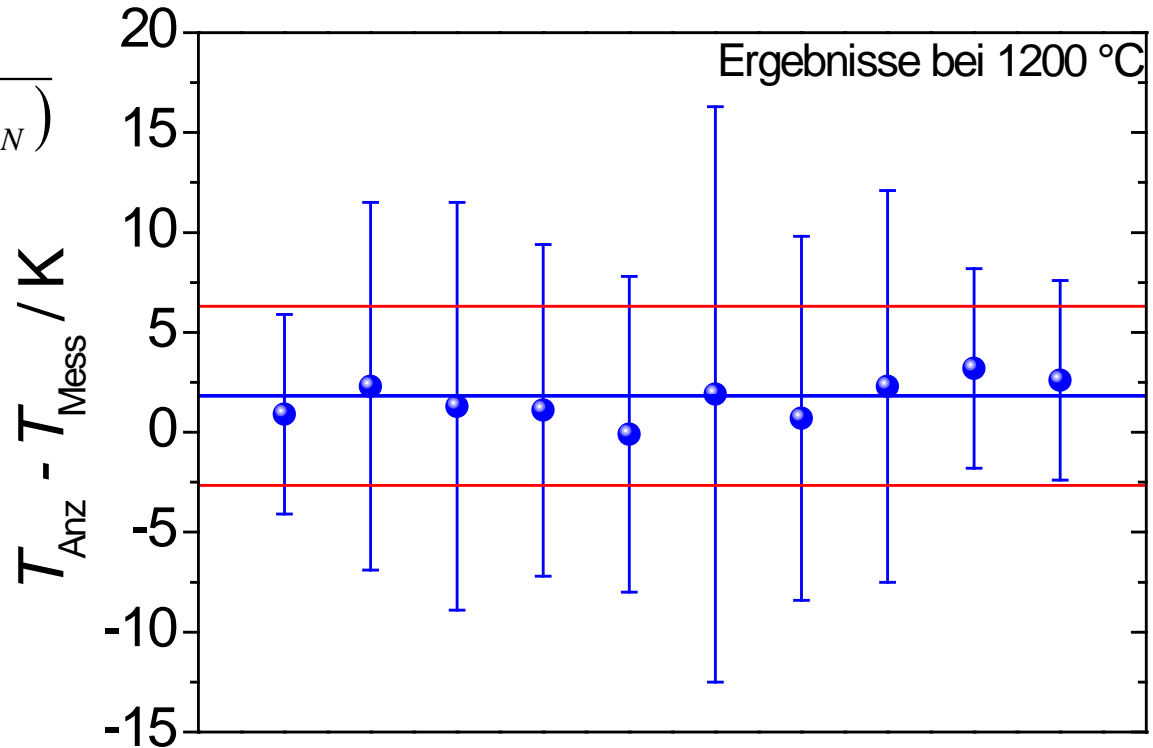
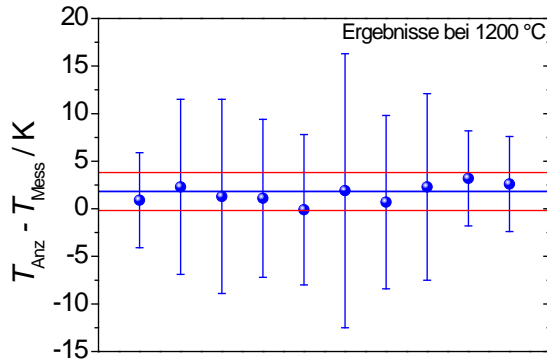
Unsicherheit des Referenzwertes (gewichteter Mittelwert)

$$y = \frac{x_1 / u^2(x_1) + \dots + x_N / u^2(x_N)}{1 / u^2(x_1) + \dots + 1 / u^2(x_N)}$$

$$\frac{1}{u^2(y)} = \frac{1}{1 / u^2(x_1) + \dots + 1 / u^2(x_N)}$$

ermittelt auf der Basis der Unsicherheiten der Teilnehmer

ermittelt auf der Basis der Varianz der Messwerte aller Teilnehmer



M. G. Cox, The evaluation of key comparison data
Metrologia 39 (2002) 589-595

Zusammenfassung

- ⇒ Analyse der Aufgabenstellung
- ⇒ Untersuchungen zur Quantifizierung der Unsicherheitsbeiträge
- ⇒ Validierung des MUB durch eine Vergleichsmessung
- ⇒ Erstmals unabhängige und belastbare Ergebnisse für Blockkalibratoren bei Temperaturen oberhalb von 600 °C
Bestätigung der bisherigen DAkkS-Akkreditierungen

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Abbestr. 2-12
10587 Berlin

Steffen Rudtsch
Arbeitsgruppe 7.42 „Angewandte Thermometrie“

Telefon: 030 3481 7650
E-Mail: steffen.rudtsch@ptb.de
www.ptb.de

